

Benthic Foraminiferal Assemblages from Nanao Bay, Ishikawa, Japan: Basic Study of Vertical Changes of Faunas

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9648

能登半島七尾湾の現生底生有孔虫群集 - 群集の時間的変化に関する基礎的研究 -

谷口 麻由佳¹・加藤 道雄¹

Benthic Foraminiferal Assemblages from Nanao Bay, Ishikawa, Japan

-Basic Study of Vertical Changes of Faunas-

Mayuka Taniguchi, Michio Kato

はじめに

底生有孔虫は海水域から汽水域にかけて汎世界的に分布する殻を持つ原生動物で、多くのものが石灰質の殻を持つ石灰質殻有孔虫と周囲の堆積物を膠着して殻を作る膠着質殻有孔虫に属している。その化石は古水深や古水温等の古環境復元に広く用いられ成果を挙げてきた (Olsson and Usmani, 1992 など)。また、現生の有孔虫についても盛んに研究が行われ、近年では環境の変化に伴って底生有孔虫の群集組成が変化することから、環境指標として用いる試みが数多くなされている (Alve, 1991 など)。このような研究は、とくに陸域の環境変化の影響を強く受ける閉鎖的な海域で行われている。

日本の閉鎖性海域においては、東京湾 (松本・斉藤, 1984) や松島湾 (亀丸, 1996), 大阪湾 (Tsujiimoto et al., 2006) 等で現在の底生有孔虫の分布とそれぞれの海域における過去の報告における分布を比較し、環境変化との関係を検討する研究が行われている。日本周辺の有孔虫群集の環境指標としての可能性を模索する上でこれらの研究を比較検討することが重要であるが、そのほとんどが太平洋側の内湾での研究であり、本論の調査地である七尾湾は日本海側最大の内湾でありながら、これまで有孔虫に関する研究が行われてこなかった。

本論文では、石川県能登半島七尾湾における有孔虫群集の時間的な変化に関する基礎的研究として、現生の有孔虫群集について述べる。

調査海域

七尾湾は石川県能登半島の東部に位置する約 15 km² の閉鎖性海域で、湾の中央部に能登島を有し、七尾湾は北湾、西湾、南湾の 3 つの小湾に分けられる (図 1)。北湾は大口瀬戸、南湾は小口瀬戸で日本海と接するのに対し、西湾は北湾、南湾と接するが、日本海との直接の連絡はない。水深は北湾では湾口付近が約 60m と最も深く、湾奥に向かうにつれて徐々に浅くなり、大部分が 20~30m である。一方西湾と南湾はほとんどが 10m 以浅と浅いが、南湾の湾口部が約 30m とやや深い (図 2)。外洋との連絡部は北湾が広く、最も開放的で貧栄養、西湾が最も閉

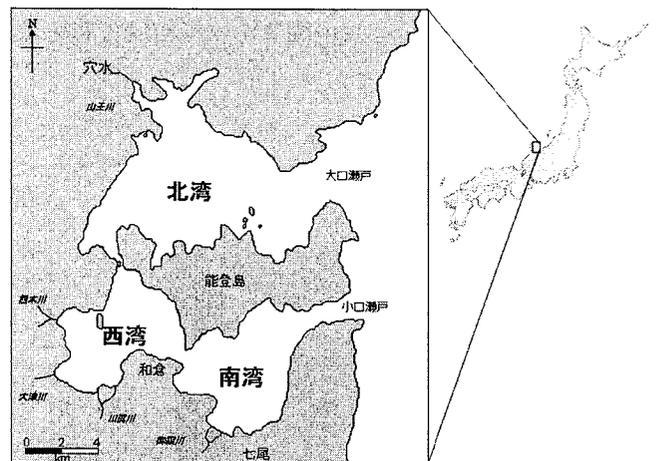


図 1: 調査海域。(太字は小湾の名前。大口瀬戸と小口瀬戸で日本海と連結する。) 試料採取・分析方法

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科 : Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan

鎖的で富栄養的であるといえる(宮地・増井, 1942). 2002年~2004年の年間の水温は8月で最も高く約29℃, 2月上旬で最も低く約5℃である. 塩分は年間を通して25~35psu, 溶存酸素量は4.00~12.00 mg/lで, 7~10月にやや低い傾向にある(石川県水産総合センター 平成16年度事業報告書).

2006年7月6, 7日に七尾湾の北湾, 西湾, 南湾の計33地点において海底堆積物の採取を行った(図3). 各地点で grabs 型採泥器を用いて表層堆積物を採取し, 堆積物中に礫や貝殻を多く含んでいた地点を除く25地点においてはフレーガー式採泥器(重力式柱状採泥器)を用いて柱状堆積物も採取した. 柱状採泥器で採集した地点については柱状堆積物の最上部1cmの10mlを有孔虫分析用試料とした. grabs 型採泥器のみで採取した地点についても堆積物の表層部1cmの10mlを採取し, 有孔虫分析用試料とした. また, すべての地点で grabs 型採泥器を用いて採取した堆積物の表層部を粒度分析用の試料とした.

有孔虫分析用試料は採取時にエチルアルコールを用いて固定したものを実験室に持ち帰り, 細胞質を染色するローズベンガル水溶液を加えて24時間放置した後, 染色した試料を濾紙に移して上澄み液が透明になるまで繰り返し湯で洗い流し余分な染色液を取り除いた. その後試料を乾燥させ, 2分の1から256分の1に分割して実体顕微鏡下で各試料につき200個体以上になるように拾い出し, 同定を行った. 粒度分析用試料は乾燥重量を測定し, 泥を洗浄後再び乾燥させ, -1~6φの篩にかけて粒度分布を求めた.

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i$$

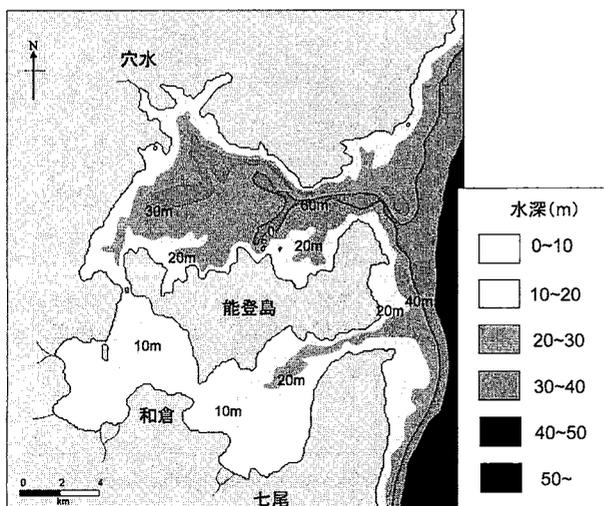


図2: 七尾湾の水深(海上保安庁水路通信 七尾湾を改変)

産出した有孔虫群集を客観的に評価するため多変量解析を行い, 試料を区分した. 生体殻は試料全体を通して算出数が少なかったため, 今回は全体群集を用いて解析を行った. 試料の多様度は Shannon - Weaver function(H')を用いて計算した. 関数式は次のとおりである.

結果

水質・堆積物粒度

調査時に測定した水質は, 底生有孔虫に直接関与していると考えられる底層の水質のpHが8前後, 塩分が31~36psu, 水温19~22℃であった. また, 有孔虫群集

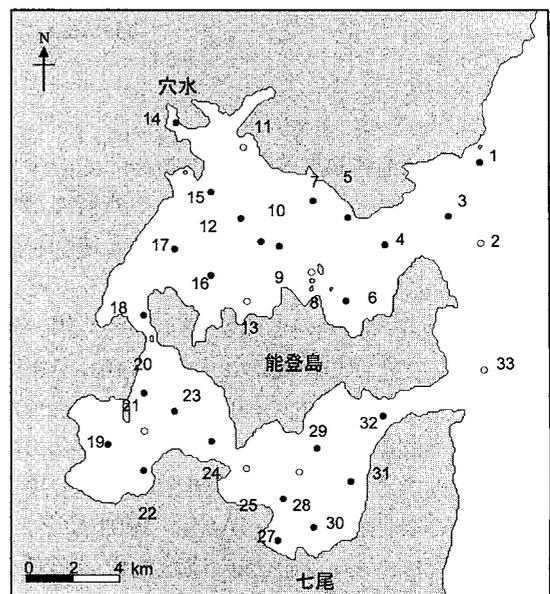


図3: 試料採取地点(数字は試料番号. 黒丸は柱状試料, グラブ試料, 白丸はグラブ試料のみ)

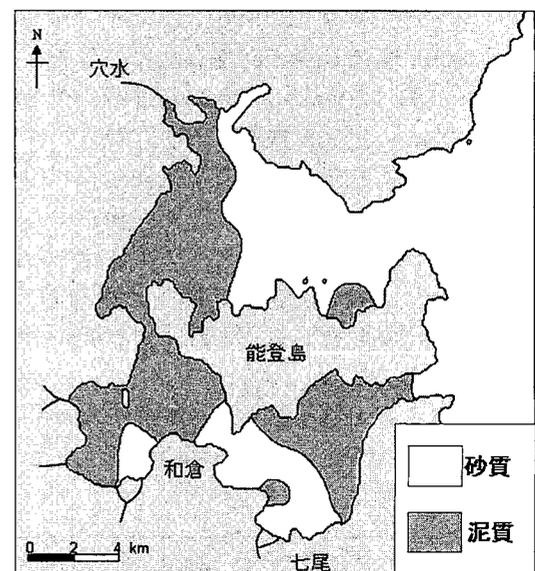


図4: 底質区分.(堆積物の含泥率が50%以下のものを砂質とする.)

各試料の含泥率を基に作成した底質区分を図4に示す。含泥率の低い砂質の場所は北湾西部，和倉周辺，七尾港沖に集中している。地点33では石灰藻片がみられ，粒度が最も粗くなっていた。この場所では有孔虫の大きさもほかの場所と比べて大きいもの（1～3mm）が多かった。

採取した33試料すべてにおいて各試料につき200個体以上の底生有孔虫，計9256個体を拾い出し，121属253種を同定した。なお今回はローズベンガル法を用いて生体染色を行ったが，生体殻の割合が少なかったため，生体と遺骸を合わせた全体群集で議論した。

各試料について，産出する有孔虫の個体数を10mlあたりに換算すると468～84224個体産出し，全体的に北湾の東部で産出数が多い（図5）。

最も産出種数が多かったのは地点2の102種，最も少なかったのが地点19の18種であった。また優占種数は地点2の16種が最も多く，地点24の2種が最も少なくなっている。全体的な傾向として，北湾や南湾湾口部は種数が多く，西湾，南湾では種数が少ない。また，流入河川の影響を受けていると考えられる地点14や19，22では種数は少ない傾向にある。

優占的な種について見てみるとその割合が最も高

いのは西湾の地点24で50%以上を占める*Ammonia tepida*である。*A. tepida*は地点25においても約50%を占めている。*Eggerella advena*も西湾，南湾の全域と北湾の地点14において20～40%と高い割合を占めている。

有孔虫には殻の構成物質の違いから大きく石灰質殻有孔虫と膠着質殻有孔虫に分けられるが，今回の調査でも両方の殻を持つ種が産出したため，この違いに着目してそれぞれの割合を出した（図6）。膠着質殻有孔虫は北湾では全体的に産出が少なく数%～10%となっているが，西湾南湾ではやや高く，20～50%となっている。また，北湾の地点14では極端に高く，約75%となっている。

クラスター分析

拾い出したサンプルのうち，浮遊性及び底生有孔虫化石が群集の多くを占めていた地点21と27を除く31地点の試料においてQモードクラスター分析を行った。その際，各試料において全体の2%以下となる種を棄却した。クラスター分析はユークリッド距離を用いて類似度を，ウォード法で再計算を行った。

クラスター分析の結果得られたデンドログラムを図7に示す。

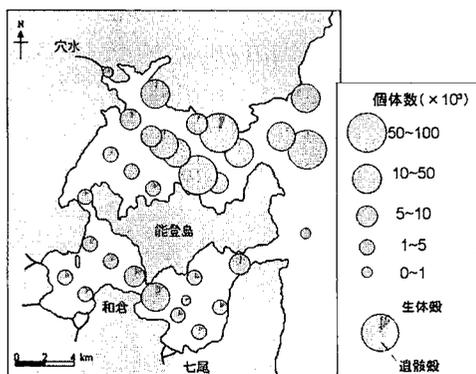


図5：産出個体数と生体殻と遺骸殻の割合

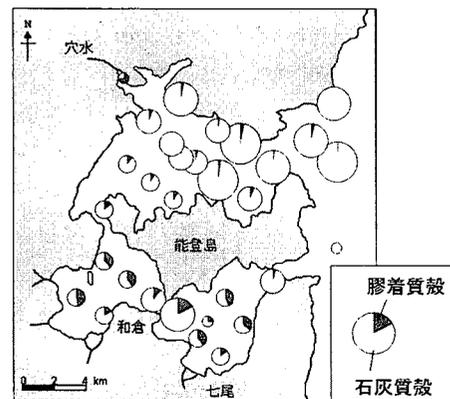


図6：膠着質殻と石灰質殻の割合

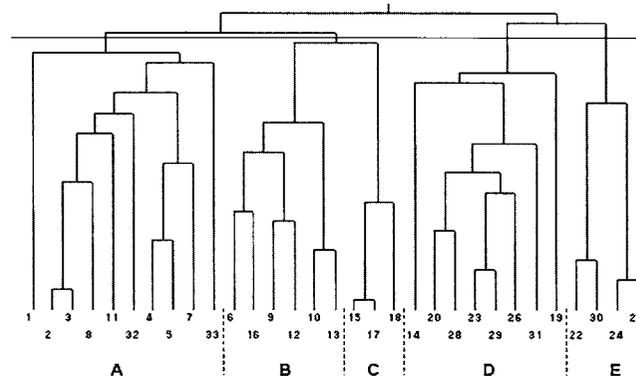


図7：クラスター分析によるデンドログラム。（2%以上を占める群集の類似性を，ユークリッド距離を用いて計算し，ウォード法で距離の再計算を行った。）

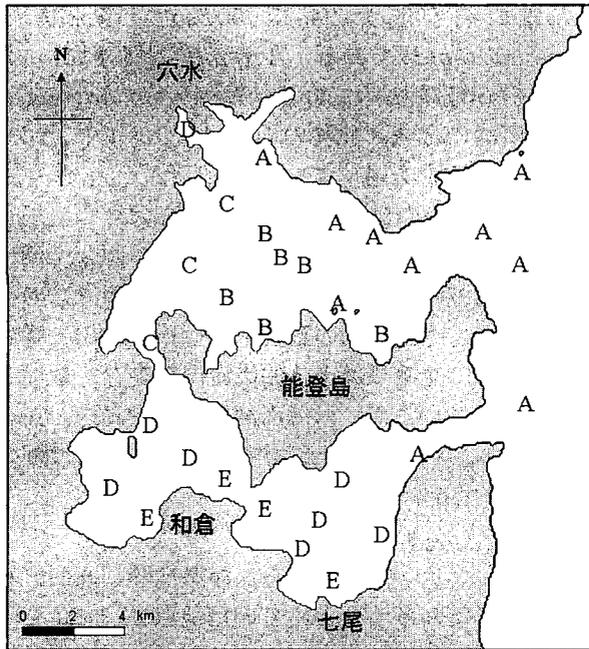


図8： クラスターの分布.

クラスターは今回5つに設定した。それぞれをクラスターA~Eとする。クラスターの分布は図8に示す。

A:クラスターAは北湾湾口部と南湾湾口部に集中している。構成種は *Bolivina robusta* が優占的となっている。しかし地点32や33など南湾では *B.robusta* の産出はない。デンドログラムを見ても地点1や33はかなり類似度が遠いことが示されており、群集組成が大きく異なっていることが分かる。また、産出個体数と産出種数が多く多様度が高い(4.5~5.9)のもこのクラスターの特徴である。膠着質殻種の割合は低く、0.5~5.0%となっている。

B:クラスターBは北湾中央部に集中している。構成種は *Protelphidium schmitti*が優占的で多様度は4.8~5.6である(膠着質殻種1.0~10.4%)。主に石灰質殻有孔虫で占められ、産出個体数もクラスターAに次いで多い。

C:クラスターCは北湾の西部に集中している。*Hopkinsina glabra*が優占的で多様度は4.3~4.9である。産出個体数が少なく、膠着質殻有孔虫の割合も5.9~15.2%とクラスターA、Bと比較するとやや高くなる。

D:クラスターDは西湾北部、南湾中央部に集中し

ており、*Eggerella advena*が20~35%を占め、優先的である。多様度が3.1~4.1とやや低く、産出個体数も10mlあたり468~3888個体と比較的少なくなっている。また、膠着質殻有孔虫の割合が29.1~72.7%と高い。

E:クラスターEは和倉周辺、七尾沖に集中しており、*Ammonia tepida*の高い割合で特徴付けられる。また、個体数は3296~18496と比較的多いことも、このクラスターの特徴である。膠着質殻有孔虫の割合は比較的 low 10.8~17.3%である。多様度は最も低く、2.8~3.6である。

考察

全体群集の扱いについて

今回は200個体以上を目安に有孔虫の拾い出しを行ったが、生体殻のみで200個体以上拾い出すことができなかったため、生体と遺骸殻を合わせた全体群集で議論を行った。生体殻を比較的多く集められた地点について全体群集との比較を行ってみると、西湾、南湾のクラスター4に区分された地点では全体群集で *E.advena*が2~3割であるのに対して、生体群集ではほとんどの地点で5割を超えており、割合としては少し高くなっているものの、2番目に多くの割合を占める種は *A. tepida*であり、産出割合の多い順番は大きく変化しない。また、クラスター5では生体群集においても *A. tepida*が最も多く産出しており、次に *E. advena*が続く。クラスター3では *H. glabra*が最も多く産出しており優占的な種構成は大きく変わらないが、*P. schmitti*の生体がほとんど産出しないことや *E. advena*と *A. tepida*の割合が生体でやや高くなっていることが異なっている。北湾では生体殻の割合が全体的に少ないが、地点5で26個体中に15種が産出していることや、砂質の割合が少ないことから、少なくとも生体においても北湾で多様度が高いと言える。生体では膠着質の割合が高いといえるが、これは季節性を示している可能性と物理的な破壊に弱い膠着質殻が時間をかけてより多く壊れた可能性の2つが考えられる。*E. advena*の季節性についての研究が行われていないので現段階ではどちらか断言はできないが、両方の影響を受けていることも考えられる。

外洋に浮遊して生息する浮遊性有孔虫も産出しており、現生のものと思われる保存状態の良いものは北湾の湾口付近のみに見られることから北湾は外用水の流入量が南湾と比べてかなり多いものと考えられる。海底地形を見ても北湾の湾口部はかなり削り込まれ、深くなっているため西湾、南湾と比べて北

湾で流速が速いことが考えられる。これらのことから北湾は西湾、南湾よりも運搬作用が強く働いている可能性が考えられる。

また、有孔虫類の餌については *Ammonia beccarii*, *Haynesina ermanica* などの種で、バクテリア、ハネケイソウ、微藻類を摂食することが実験で明らかになっている (Topping et al., 2006) 以外に詳しい報告はないが、一般的に雑食性で主にバクテリアや原生動物無脊椎動物を餌としていると考えられている。堆積物表層に生息する表生種は光合成共生者を持っていることや、内生種は死んだ有機物を摂取していることが言われている (Armstrong and Brasier, 2007) が、今回の調査では堆積物表層部の種についてのみの議論であるので各種の餌の違いについては考慮していない。

クラスター区分と海洋環境

各クラスターの水質は採取当時大きな差は見られなかったが有孔虫群集は経年的な水質や底質、水深、えさとなる有機物等の影響を受けて分布範囲が決定されていると考えられるので、少なくとも急激に変化を起こすことのないと考えられる底質や水深について関係性を考えることは重要である。各クラスターと水深の関係について考えてみると、クラスター1 は比較的深い水深に集中していることが分かる (図 9)。また、クラスター4と5も水深に影響している可能性は考えられる。

底質についてみてみると、クラスター3 は泥質の場所に集中している。また、クラスター4 は泥質、クラスター5 は砂質の場所に多く集中していることから、クラスター区分と底質の間には関係性が認められると思われる。(図 10)

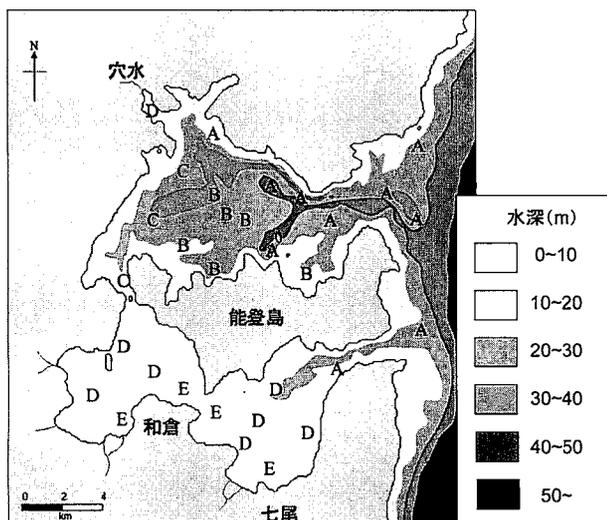


図 9: 水深とクラスターの分布

他の水域との比較

海洋汚染が問題となる水域においては、*E. advena*, *Trochammina* 属, *Ammonia* 属が優先的となる場合が報告されている。*T. hadai* は一般的に汽水~内湾奥部の貧酸素環境で多産することが知られているが、この種の繁殖には一定の高溶存酸素 (5ml/l ; 約 7mg/l) の期間が必要であるとされており、夏季に生産量がほとんど 0 になり、冬季に生産量があがることが知られている (Matsusita and Kitazato, 1990)。本研究で産出した *T. hadai* はすべて遺骸で生体が発見されなかった。これは夏季に試料を採取したため生体が発見できなかった可能性がある。七尾湾においても冬季に生産量が上がると考えられると考えると、七尾湾に生息する *T. hadai* が浜名湖の *T. hadai* と同じ生態をしていることが推定される。

E. advena は本研究において多く産出が認められたが、この種は日本の限られた内湾、例えば大阪湾、瀬戸内海で報告されている。同じ日本海側の閉鎖的な海域である中の海ではまったく産出がない。この原因が何によるものかは知られていないが、中の海においては七尾湾よりもかなり塩分が低いことが原因ではないかと考えられる。大阪湾では 1952 年の調査で *E. advena* は算出数が少ないが、1983 年、1999 年の調査では河口域を除いて広く分布し、群集の多くの割合を占める。また、河口域においては 1952 年にはほとんど見られなかった *T. hadai* が群集の中で優先的な種となり、この事と人為的な海洋汚染による富栄養化や貧酸素との関連性を指摘している (Tsujiimoto et al., 2006)。

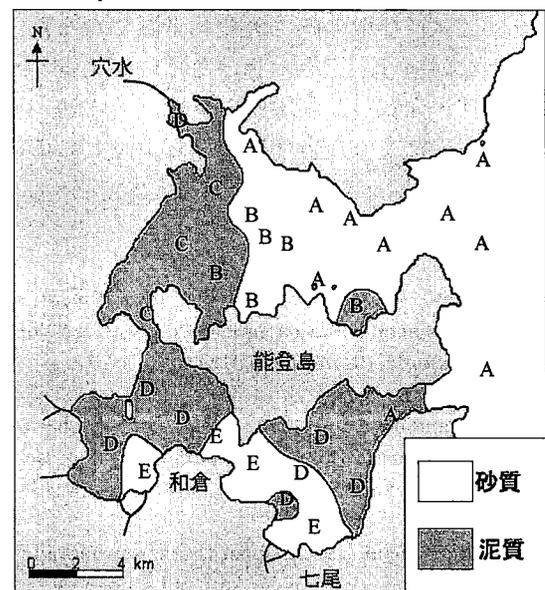


図 10: 底質区分とクラスターの分布

まとめ

本研究で七尾湾より産出した現生の有孔虫群集組成から北湾は外洋水の影響を強く受けていることが示唆される。それに対して西湾と南湾は、閉鎖的であることが分かる。ここで産出した有孔虫は各地点で採取時の水質に大きな違いはなかったのに対し、底質環境や水深によって分布が異なっていることから、それらの環境要因によって分布を制限されている可能性が示唆される。また、*E. advena*や*A. tepida*など富栄養化や窒素やリンの増加に伴ってその割合が増加することが指摘されている種が多く産出した西湾、南湾では北湾に比べて底質等の海洋汚染が進行している可能性が示唆される。

結論

今回の研究で産出した底生有孔虫群集のクラスター分析による区分を用いて考えると、七尾湾は北湾東部・南湾湾口、北湾中央部、北湾西部、西湾北部・南湾中央部、和倉周辺・七尾港沖の5つに分けられ、それぞれのクラスターの分布する水域に多く産出する種は、水深や底質と関連性を持つと考えられる。また、北湾・南湾湾口の群集は多様性が高く、石灰質殻種の割合が高いことから、外洋水の影響を受けていることが示唆される。それに対して西湾・南湾の群集は、海洋汚染の進んだ海域に多産する *E. advena* や *A. tepida* で特徴付けられることから、北湾に比べて海洋環境が悪化している可能性がある。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、七尾漁協及び穴水漁協の方々には試料採取の際に大変お世話になった。また、様々な御指導、御教示をいただいた地質グループの各教官・先輩方、同学年の皆様、その他本研究に協力して下さった方々に心から感謝しここに記す。

8. 引用文献

- ・ Alve, 1991 : Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, western Norway. *Journal of Foraminiferal Research* 21 (1), p. 1-19
- ・ Matsusita and Kitazato, 1990 : Laboratory observations of sexual and asexual reproduction of *Trochammina hadai* Uchio. *Trans.Proc.Palaeont.Soc.Japan, N.S.*, (182), p.454-466
- ・ Olsson and Usmani, 1992 : Upper Cretaceous foraminifera in Santonian to Maestrichtian depositional sequences in New Jersey coastal plain . *Centenary of Japanese*

Micropaleontology, p.301-315.Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.

- ・ Topping et al., 2006 : Sewage effects on the food sources and diet of benthic foraminifera living in oxic sediment : A microcosm experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 329 (2006) p.239-250

- ・ Tsujimoto et al., 2006 : Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. *Paleontological Research*, vol.10, no.2, p.141-161, June 30

- ・ 亀丸・文秀, 1996 : 1960年代から1990年代の松島湾における底生有孔虫群集の変化. 化石 61, p.1-20

- ・ 松本・斉藤, 1984 : 東京湾の人為的環境変化 - 地質時代の環境変化との比較. 地質調査所月報, 第35巻 第6号, p.243-260

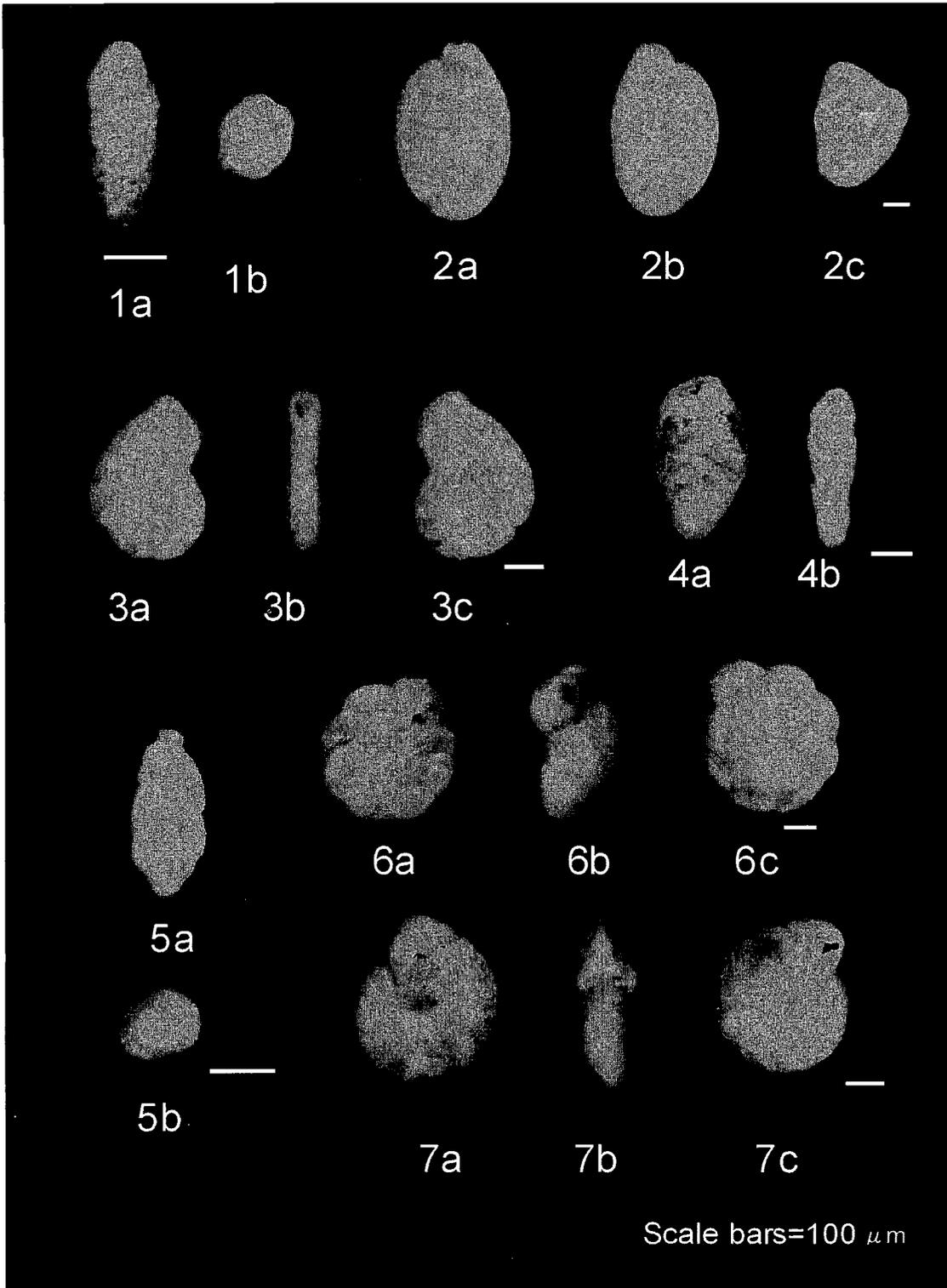
- ・ Armstrong and Brasier, 2007 : H.A.Armstrong and M.D.Brasier 池谷・鎮西 (訳). 微化石の科学 朝倉書店

- ・ 宮地・増井, 1942 : 七尾湾の底棲群集の研究. 日本海洋学会誌 2 (1) p.1-20

表 1：七尾湾で産出した有孔虫の個体数及び優占種数

	個体数	10mあたりの個体数	分割	種数	優占種数	生体の個体数	生体の種数	多様度	クラスター
St.1	238	30464	128	52	6	1	1	4.53	A
St.2	540	69120	128	102	16	9	6	5.91	A
St.3	204	26112	128	62	13	2	2	5.49	A
St.4	306	19584	64	78	9	7	5	5.31	A
St.5	401	51328	128	79	13	26	17	5.54	A
St.6	279	8928	32	53	9	10	6	4.98	B
St.7	234	7488	32	61	8	14	10	5.11	A
St.8	329	84224	256	71	12	5	5	5.50	B
St.9	241	15424	64	52	7	5	4	4.76	B
St.10	236	15104	64	51	10	5	4	5.13	A
St.11	304	38912	128	77	12	10	7	5.59	B
St.12	511	8176	16	63	6	5	5	4.78	B
St.13	260	2080	8	49	8	43	14	4.87	B
St.14	238	476	2	29	3	57	9	3.59	D
St.15	337	5392	16	57	7	27	11	4.83	C
St.16	263	4208	16	52	8	12	6	4.88	B
St.17	369	2952	8	53	6	33	9	4.64	C
St.18	224	1792	8	45	4	26	6	4.31	C
St.19	209	3344	16	18	3	41	6	3.08	D
St.20	243	3888	16	41	4	35	6	4.10	D
St.21	228	29184	128	45	3	8	2	4.01	-
St.22	206	3296	16	45	3	28	5	3.43	E
St.23	354	2832	8	38	3	53	5	3.64	D
St.24	249	7968	32	30	2	39	6	2.77	E
St.25	289	18496	64	35	2	32	6	3.22	E
St.26	275	1100	4	36	2	65	6	3.46	
St.27	202	25856	128	44	6	5	3	4.61	-
St.28	234	468	2	32	4	46	6	3.94	D
St.29	311	2488	8	43	2	79	12	3.87	D
St.30	206	3296	16	32	3	27	6	3.63	E
St.31	250	2000	8	38	3	53	13	3.87	D
St.32	201	6432	32	69	12	12	7	5.43	A
St.33	285	570	2	65	8	17	8	4.90	A

Plate 1



1a-b. *Eggerella advena* (Cushman); 2a-c. *Quinqueloculina vulgaris* d'Orbigny; 3a-c. *Spirolina arientina* (Batsch); 4a-b. *Bolivina robusta* Brady; 5a-b. *Hopkinsina glabra* (Millett); 6a-c. *Ammonia tepida* Linne; 7. a-c. *Elphidium advenum* (Cushman)